

# **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

<sup>1</sup>Сарапулов А.В., <sup>1</sup>Уманский А.Б.

<sup>1</sup>ОАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ АВТОМАТИКИ им. Академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург, Россия (620075, Екатеринбург, Мамина-Сибиряка, 145), aesee@mail.ru

В работе рассматриваются вопросы повышения надежности вычислительных модулей нерезервированной бортовой вычислительной системы, выход из строя которой повлечет за собой невозможность выполнения поставленной задачи. В случае малогабаритных систем управления невозможно использовать традиционные технологии резервирования. Предлагается использовать метод перераспределения задач, выполняемых малогабаритной системой при отказе одного или нескольких вычислительных модулей. Для наглядности приводятся примеры циклограмм для случая постепенного отказа системы из трех модулей и список задач по приоритетности. Были введены характеристики модели системы и произведен расчет эффективности рассматриваемого метода по закону Амдала. В результате анализа найдено, что эффективность системы из трех элементов потеряет в эффективности примерно на 50%. Сделан вывод, что рассмотренный метод подходит только для малогабаритных подвижных объектов, работающих в экстремальных условиях относительно непродолжительное время.

Ключевые слова: система управления, вычислительный модуль, надежность, перераспределение, эффективность.

## **THE EFFICIENCY OF THE REDISTRIBUTION OF TASKS ONBOARD COMPUTER SYSTEM TO IMPROVE THE RELIABILITY OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF MOVING OBJECTS**

<sup>1</sup>Sarapulov A.V., <sup>1</sup>Umansky A.B.

<sup>1</sup>JSC "RESEARCH AND PRODUCTION ASSOCIATION AUTOMATION. Academician NA Semikhatov ", Ekaterinburg, Russia (620075, Ekaterinburg, Mamin-Siberian, 145), aesee@mail.ru

This article discusses the issues of improving the reliability of non-redundant computation modules onboard computer system. Failure of the modules will entail the impossibility of the task. In the case of compact control systems it is impossible to use traditional technology backup. It is proposed to use the method of redistribution of tasks performed by a compact control system in case of failure of one or more computing modules. We show an example of sequence diagrams for the case of the phase-out of the system of three modules and a list of tasks by priority. Were introduced characteristics of the model system and calculated the efficiency of the method according to Amdahl's Law. The analysis found that the effectiveness of the three elements of the system to lose efficiency at approximately 50%. It is concluded that the above method is only suitable for small moving objects working in extreme conditions of relatively short time.

Key words: control system, computing unit, reliability, redistribution, efficiency.

### **Введение**

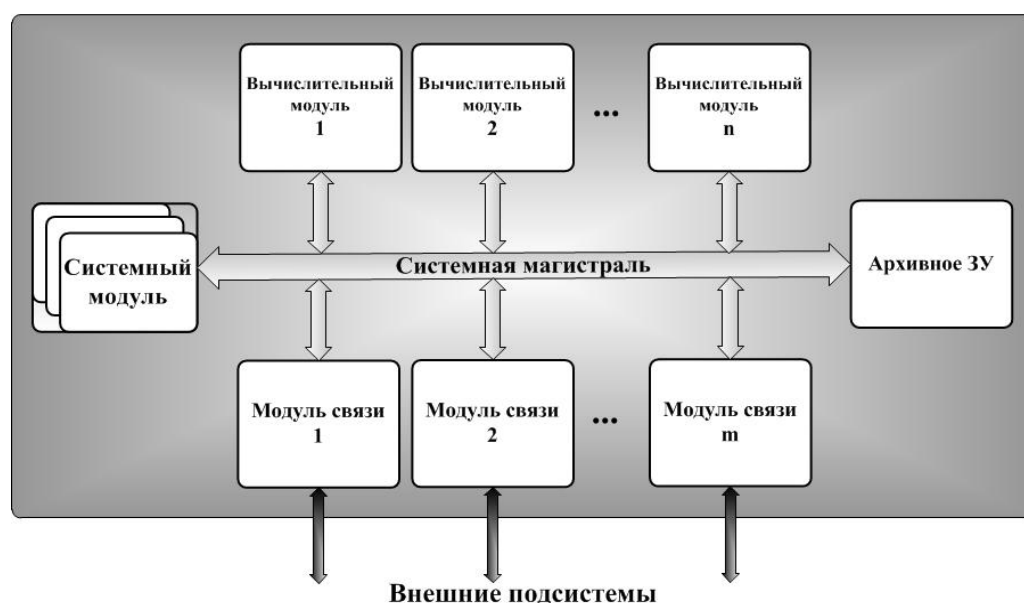
Современные системы автоматического управления (САУ) подвижными объектами, такими как ракета-носитель, беспилотный летательный аппарат, мобильные роботы и др., относятся к системам реального времени, которые должны выполнять целевые функции и гарантированно реагировать на внешние события в пределах минимального времени с обработкой достаточно больших объёмов информации.

Для САУ, работающих в экстремальных условиях (широкий диапазон изменения температуры окружающей среды (от  $-60$  до  $+125$  °С), механические воздействия в виде ударов и широкополосной вибрации, а также обеспечение работы в импульсных и стационарных полях ионизирующих излучений космического пространства при вспышках на Солнце, авариях ядерно-энергетических установок и направленном противодействии), отдельно предъявляются требования по надежности.

В настоящее время центральным элементом в современных системах САУ различного назначения является управляющая бортовая цифровая вычислительная система (ВС), выход из строя которой повлечет за собой невозможность выполнения поставленной задачи всей САУ.

Традиционным способом повышения надежности САУ является создание резервированных ВС со встроенными аппаратно-программными функциями восстановления [1]. Однако, введение резервирования ухудшает все остальные характеристики системы: увеличиваются объемно-массовые характеристики, потребление энергии, стоимость, что существенно затрудняет использования традиционных структур для реализации САУ малогабаритных аппаратов различного назначения [2].

Традиционно в резервированных системах используется несколько вычислительных модулей (ВМ) (рисунок 1) [3], параллельно выполняющих одну задачу, а после сравнивающих полученные результаты. Таким образом, если произойдет отказ одного из них, остальные поддержат работоспособность системы.



**Рис.1. Структура резервированной магистрально модульной ВС**

Однако зачастую данный подход не применим для малогабаритных САУ, вследствие чего возникает проблема обеспечения требований по надежности в части обеспечения безотказной работы изделия за время эксплуатации.

Одним из способов решения данной проблемы предлагается метод перераспределения функциональных задач отказавшего ВМ между рабочим вычислителям.

### **Модель эффективности. Общие положения**

Рассмотрим параллельную ВС, состоящую из  $n$  одинаковых функциональных устройств, которые выполняют задачу совместно. Пусть система решает задачу  $A$  за время  $T$ . При этом только у одного устройства на решение этой задачи ушло бы время  $T_0$ . С помощью простого отношения, можно получить *ускорение* системы[5]:

$$S = \frac{T_0}{T}$$

Ускорение показывает, насколько изменяется время выполнения поставленной задачи при использовании целой системы, вместо одного ВМ.

Введем комплексный показатель качества варианта реализации ВС – *техническую эффективность*  $E$ .

Оценим параллельную систему с позиции эффективности:

$$E = \frac{S}{n} = \frac{T_0}{nT} \quad (1)$$

Так мы получили модель, описывающую характеристики параллельной системы.

### **Модель эффективности для распределенной ВС**

Рассмотрим параллельную вычислительную систему, состоящую из  $n$  одинаковых функциональных устройств, выполняющих разную последовательность задач. Каждое устройство может выполнять только одну задачу в единицу времени.

Для того чтобы составить модель такой системы, воспользуемся законом Амдала [1]. Этот закон устанавливает максимально возможное ускорение при выполнении параллельного алгоритма с последовательной частью на однородной параллельной системе:

$$S^* = \frac{1}{\alpha + \frac{1 - \alpha}{n}}$$

Выразив максимальную эффективность через ускорение, получим:

$$E^* = \frac{S^*}{n} = \frac{1}{\alpha n + (1 - \alpha)} = \frac{1}{\alpha(n - 1) + 1}$$

В этих формулах появляется значение  $\alpha$  – *доля распределенных вычислений*[4]. Это значение соответствует отношению числа последовательных вычислений параллельной системы к общему числу всех вычислений.

Нетрудно заметить, что максимальная эффективность системы, равная единице, будет достигнута только в том случае, если доля последовательных вычислений равна нулю, что в реальной ВС никогда не будет достигнуто.

### Модель эффективности системы с перераспределением

Теперь рассмотрим параллельную систему, где каждый из  $n$  элементов выполняет разные задачи. Если один элемент выходит из строя, задачи перераспределяются на оставшиеся вычислители по приоритету. Задачи низшего приоритета «отбрасываются», иначе вычислительная система не успеет выполнить весь алгоритм в срок.

В системах управления подвижными объектами высший приоритет можно присвоить задаче стабилизации, так как нестабилизированный аппарат не сможет выполнить и минимальный объем возложенных на него задач.

В качестве примера рассмотрим в упрощенном виде типовую циклограмму работы (с циклом 8 мс) распределённой ВС реального времени, состоящей из трех ВМ (рисунок 2).

		2,048 мс	4,096 мс	6,144 мс	8,192 мс
ВМ1	Решение задач навигации	Решение задач навигации	Решение задач навигации		
ВМ2	Определение ориентации	Решение задач спутниковой навигации	Определение ориентации		
ВМ3	Решение задач наведения	Решение задач стабилизации	Решение задач наведения	Решение задач стабилизации	

**Рис. 2. Упрощенный вид типовой циклограммы работы распределённой ВС.**

Определим условную приоритетность задач (по убыванию):

1. Задачи стабилизации;
2. Задачи ориентации;
3. Задачи наведения;

4. Задачи инерциальной навигации;
5. Задачи спутниковой навигации.

На циклограмме изображена работа трех вычислительных модулей ВМ ( $n=3$ ). Для нахождения эффективности этой системы, необходимо определить долю  $\alpha$ . Первое время элементы работают параллельно. Допустим, что каждые 2.048 миллисекунды каждый модуль выполняет одну задачу. Тогда за цикл выполняется четыре последовательных вычисления: три параллельных до 2.048 мс, три параллельных до 4.096 мс, три параллельных до 6.144 мс и одно вычисление до 8.192 мс. Всего на все вычислители, в общем, приходится 10 задач.

Значит,  $\alpha = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}$ .

Эффективность такой системы будет равняться:

$$E_3 = \frac{1}{\frac{2}{5}(3-1) + 1} = 0.55$$

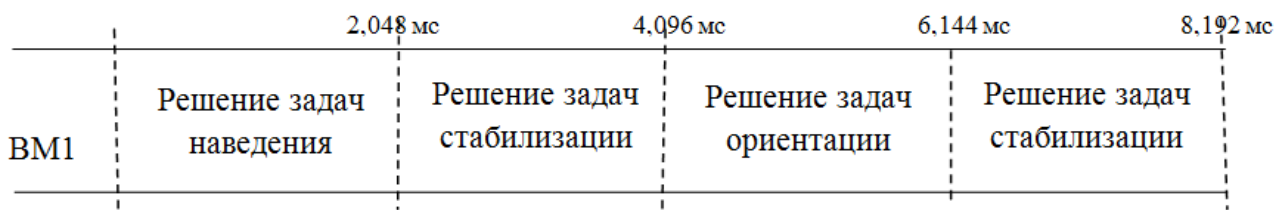
Допустим, что один из вычислителей (ВМ3) вышел из строя (рисунок 3). Отбросив задачи с низким приоритетом и перераспределив оставшиеся, получили  $\alpha = \frac{1}{2}$ , а эффективность снизилась до  $E_2 = 0.5$ . Стоит заметить, что в расчетах мы все еще считаем  $n$  равным 3, так как поломка элемента оказала влияние на *алгоритм* работы, а не *структуру* системы. Если подставить  $n=2$ , то можно заметить, что эффективность вместо того, чтобы падать, наоборот выросла. Это объясняется тем, что для системы из двух элементов выбранная доля последовательных вычислений относительно весьма продуктивна.

	2,048 мс	4,096 мс	6,144 мс	8,192 мс
ВМ1	Определение ориентации	Решение задач спутниковой навигации	Определение ориентации	Решение задач навигации
ВМ2	Решение задач наведения	Решение задач стабилизации	Решение задач наведения	Решение задач стабилизации

**Рис. 3. Циклограмма после перераспределения задач для двух вычислительных модулей.**

При перераспределении задач была откинута большая часть навигационных вычислений. Такой алгоритм не потеряет в эффективности в стандартных условиях, так как присутствует спутниковая навигация – более медленный, но все еще надежный способ для определения местоположения аппарата. Однако спутниковая навигация может оказаться бесполезной в условиях воздействия импульсных и стационарных полей ионизирующих

излучений, при вспышках на Солнце, авариях ядерно-энергетических установок и направленном противодействии.



**Рис. 4. Циклограмма после перераспределения задач для одного вычислительного модуля.**

При отказе двух модулей, задачи перераспределяются с целью вывести аппарат до заданного места назначения (рисунок 4). Остаются задачи:

- Наведения – для следования по грубо рассчитанным координатам;
- Стабилизации – для удержания аппарата в пространстве (иначе под действием внешних возмущений произойдет сход с траектории);
- Ориентации – для определения положения аппарата относительно модели Земли.

Оставив в системе один работающий элемент, при любом распределении задач доля последовательных  $\alpha$  будет равна единице, тогда эффективность:  $E_1 = 0.33$ . Этот случай также можно рассчитать через формулу 1, так как система равносильна параллельной, где все элементы выполняют задачу совместно. Учитывая, что  $T=T_0$ , а  $n=3$ , также получим  $E_1 = 0.33$ .

Если принять эффективность полностью работающей системы за 100%, тогда мы увидим, что при отказе одного элемента эффективность упала до 91%, а при следующей поломке – до 44%.

С учетом того, что работа в экстремальных условиях вносит значительный элемент непредсказуемости негативных воздействий, то при постепенной деградации системы с уменьшением вычислительной мощности будет увеличиваться и погрешность вычислений. Следовательно, вероятность прогноза будет тем выше, чем меньше будет закладываемое время эксплуатации.

## Заключение

В работе была предложена модель производительности параллельной системы с распределением задач. В модели были введены основные характеристики

производительности такие, как ускорение и эффективность. Распределение задач учитывается в модели неизменностью количества элементов и различием доли последовательных вычислений.

Также была рассмотрена эффективность метода на примере системы из трех элементов. В результате анализа получили, что даже при поломке всех ВМ, кроме одного, при правильном перераспределении задач, можно получить падение производительности всего лишь чуть больше, чем в половину.

Рассмотренный метод подходит для малогабаритных подвижных объектов, работающих в экстремальных условиях относительно непродолжительное время.

### **Список литературы**

1. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 520 с.
2. Яцук Г.Е. Бортовые цифровые вычислительные системы для работы в экстремальных условиях в составе систем управления малогабаритными летательными аппаратами / Г.Е. Яцук, А.Б. Уманский, А.В. Есиновский // XXI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам: сб. науч. тр. 2014. С.26-29.
3. Уманский, А.Б. Бортовые цифровые вычислительные системы семейства «Малахит» для работы в экстремальных условиях / В.М. Антимиров, А.Б. Уманский, Л.Н. Шалимов // Вестник СГАУ. 2013. №4(42). С.19-27.
4. Воеводин В.В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с.
5. Grama A., Gupta A., Karypis G., Kumar V. Introduction to Parallel Computing, Second Edition. Addison Wesley, 2003. 856 с.
6. The list of references
7. Horoshevskiy W.G. Arkhitektura vychislitelnykh sistem: ucheb. posobie dlya vuzov [Architecture of computing systems: Textbook for High Schools]. – Moscow, MGTU of N.E. Bauman, 2005. 520 p.
8. Yatsuk G.E. Bortovye tsifrovye vychislitelnye sistemy dlya raboty v ekstremal'nykh usloviyakh v sostave sistem upravleniya malogabaritnymi letatel'nyimi apparatami [Onboard digital computer systems to operate in extreme conditions as a part of control systems small-sized aircraft]. XXI St.

Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems: collection of scientific papers. 2014. P.26-29.

9. Umanskiy A.B. Bortovye tsifrovye vychislitelnye sistemy semeystva «Malakhit» dlya raboty v ekstremalnykh usloviyakh [Onboard digital computer system family "Malachite" to work in extreme conditions]. Ekaterinburg, Herald of SGAU. 2013. №4(42). P.19-27.

10. Voevodin V.V., Voevodin Vl. V.Parallelnye vychisleniya [Parallel Computing]. – St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2002. 608 p.

11. Grama A., Gupta A., Karypis G., Kumar V. Introduction to Parallel Computing, Second Edition. Addison Wesley, 2003. 856 p.